

3.2. CSAMT yöntemi¹

CSAMT (controlled source audio magnetotellurics) yöntemi daha önce verilen MT yönteminin bir uzantısıdır. MT yönteminde kaynağın doğal olması ölçülen birimlerin genliklerinin küçük olmakta ve ölçüm noktasına yakın yerlerde elektrikli aygıtların olması durumunda da im (signal) gürültü tarafından bastırılmaktadır. Bu aşamda yapay kaynak kullanımı ile bu sorun giderilebilir. Uygulamada kaynak alanı iki elektrod yardımı ile yere elektrik akımı uygulanarak (Şekil 3.8) veya bir halkadan akım geçirilerek yaratılır. MT yönteminden farklı olarak kaynak alanı belirli frekanslarda yaratıldığından ölçümlerde frekans ortamında yapılır. Zaman serileri kayıt edilmediğinden ölçümler oldukça hızlıdır. Kullanılan frekanslar 0.125 Hz ile 100 kHz arasında değişmektedir. Gelenksel CSAMT yönteminde ölçüm frekansları 0.125, 0.25, 0.5, 1, ... , 8192 Hz aralığında kullanılır. Sığ araştırmalara yönelik olarak tasarlanan bazı yeni nesil aygıtlarda ölçüm aralığı 100 KHz e kadar genişleyebilmektedir.

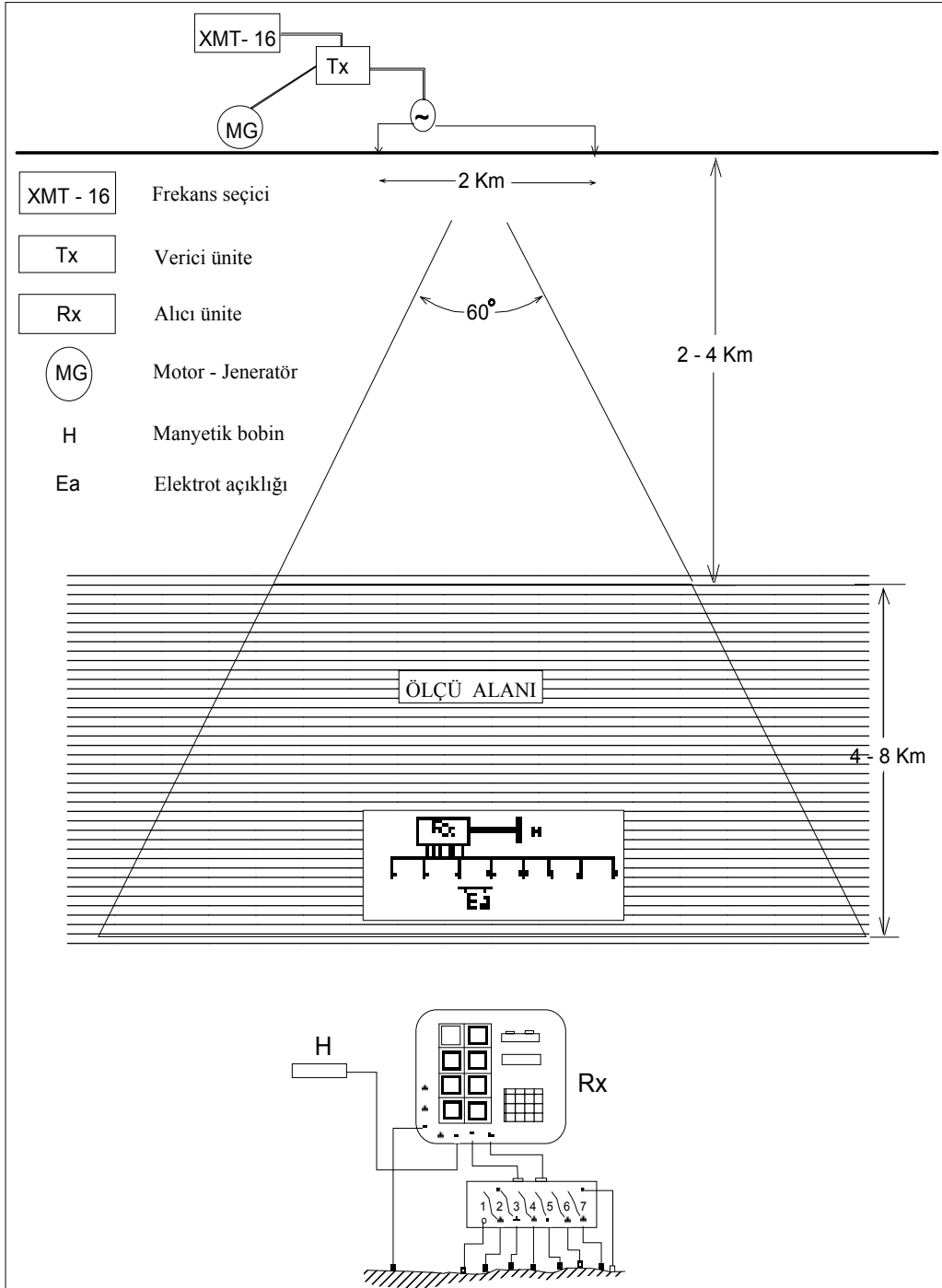
3.3.1 Yöntemin üstün ve zayıf noktaları

1. Kaynak yapay olduğundan istenilen alan şiddeti yaratılabilir
2. çalışmanın amacına göre MT yönteminde ölçülemeyen çok yüksek frekanslar kullanılabilir.
3. Kaynaktan istenilen frekansta im yaratılıp ölçüldüğü için, gürültü - im ayırımı diye bir sorun yoktur. zaman bölgesinden frekans bölgesine geçiş için herhangi bir hesaplama gerek yoktur. Bu nedenle veri -işlem aşaması daha kolaylaşmaktadır.
4. Kaynağın konumu ve ölçüm alanına uzaklığı önemlidir.
5. Kaynağın yeterli uzaklıkta olmaması durumunda yakın alan etkisi (near field effect) nin veriden ayırımı zordur.

3.3.2 Arazide ölçüm ve veri sunumu

Şekil 3.8 görülen düzenekte ölçüm yapılır. Kaynak elektrodları ölçüm alanına 2 – 4 km uzaklıkta ve 2 km aralıkla yerleştirilir. Kaynak ile ölçüm alanı arasındaki mesafe genelde deri derinliğinin 3-4 katı olarak belirlenir. Buradaki amaç kaynağın yaratılan EM dalganın düzlem dalga varsayımı yapılabilecek kadar uzağına yerleştirilmesidir. Çalışma alanı kaynağın tam karşısına gelen ve yaklaşık olarak 60° lik açılı çizgilerle sınırlanan bölgedir. Bu bölgenin dışında EM alan küresel davranış sergiler ve veri işlem aşaması karmaşık bir hal alır. 7 elektrik alan ve 1 manyetik alan bileşeni ölçülür. Buradaki varsayım manyetik alan bileşenin değişiminin elektrik alanının değişimine göre çok yavaş olduğudur. Jeolojinin çok karmaşık olduğu durumlarda 4 elektrik 4 manyetik alan ölçülür. Elektrodlar aralıkları 50 – 250 arasında seçilir ve tüm ölçümler eşzamanlı olarak yapılır.

¹ Bu ders notuna <http://jeofizik.ankara.edu.tr/download.html> sayfasından ulaşılabilir



eki

Şekil 3.8 CSAMT Ölçü düzeneği

Ölçülen elektrik alan ve manyetik alanın oranlarından empedanslar elde edilir. Empedans için kaynağa paralel elektrik alan ve kaynağa dik manyetik alan kullanılır. Bu aşamadan sonra verilerin yorumu ve sunumu MT yöntemi ile aynıdır.

3.3.3 Tekdüze Ortamda Yatay Elektrik Kutbun Çözümü

CSAMT yönteminde akım, yatay bir halka veya iki noktadan topraklanmış bir tel aracılığı ile yere verilir. Bu iki tip akım kaynağı için de dalga denklemi çözülebilir. Aşağıdaki bölümlerde kutup durumu, için çözüm verilecektir. İki ucundan topraklanmış bir tel CSAMT kaynağı olarak kullanılır. Bu kutbun boyu dl kadar ve x - eksenini boyunca tekdüze yeryuvarı üzerinde olsun yarı duraylı (Quasi – static) yaklaşımda ($\sigma \gg \epsilon \omega$) $z+$ aşağı doğru pozitif ve r , yarıçap yöneyi olmak üzere bileşenler aşağıdaki gibi verilir (Kaufman ve Keller, 1983).

$$E_r = \frac{I d l \cos \phi}{2 \pi \sigma r^3} [1 + e^{-ikr} (1+ikr)]$$

$$E_\phi = \frac{I d l \sin \phi}{2 \pi \sigma r^3} [1 - e^{-ikr} (1+ikr)]$$

$$E_z = \frac{i \mu I d l \cos \phi}{2 \pi r} [I_1 (ikr/2) K_1 (ikr/2)]$$

$$H_r = \frac{I d l \sin \phi}{2 \pi r^2} [3 I_1 (i kr/2) K_1 (i kr/2) + (i kr / 2) (I_1 (i kr / 2) K_0 (i kr / 2)$$

$$-I_0 (i kr / 2) K_1 (i kr / 2)]$$

$$H_\phi = \frac{I d l \cos \phi}{2 \pi r^3} [I_1 (i kr / 2) K_1 (i kr / 2)]$$

$$H_z = \frac{3 I d l \sin \phi}{2 \pi k^2 r^4} [1 - e^{-ikr} (1 + i kr - k^2 r^2 / 3)]$$

Burada I_m ve K_m m inci mertebeden modifiye Bessel fonksiyonlarını gösterir. Ez bileşeni, $z = 0$ da hesaplanır. Bu bileşenlerin genlikleri kaynak ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa (r), ortamın özelliklerine ve frekansa bağlıdır. Ortamı tanımlayan elektriksel geçirgenlerden ve seçilen frekanstan deri kalınlığına (δ)'a karar verilir. Dalga sayısı, k nin mutlak değeri

$$|k| = (2/\delta)^{1/2}$$

$$|kr| = r(2/\delta)^{1/2} \approx r/\delta$$

burada $|kr|$ uyarım sayısı (induction number) olarak tanımlanır. Uyarım sayısının küçük olduğu ($kr \ll 1$, $r \ll \delta$) verici kutbuna yakın olan kısımlar, yakın-kaynak (near field) bölgesi olarak bilinir. Uyarım sayısının büyük olduğu verici kutbuna uzak bölgeler ise uzak-kaynak veya düzlem dalga (far-field or plane wave) bölgeleri olarak bilinir. Bu iki bölge arasına ise geçiş bölgesi (transition zone) denir.

4.2--5 YAKIN-KAYNAK DURUMU

Yakın-kaynak bölgesinde $kr \ll 1$ olduğundan elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerini veren bağıntıların limitleri alınabilir (Wait, 1961 Bannister, 1966). Sonuç olarak,

$$E_r = \frac{I d l \cos \phi}{\pi \sigma r^3}$$

$$E_\phi = \frac{I d l \sin \phi}{\pi \sigma r^3}$$

$$E_z = \frac{i \mu_w I d l \cos \phi}{4 \pi r}$$

$$H_r = \frac{I d l \sin \phi}{4 \pi r^2}$$

$$H_\phi = - \frac{I d l \cos \phi}{4 \pi r^3}$$

$$H_z = \frac{I d l \sin \phi}{4 \pi r^2}$$

Yakın kaynak durumu için dalga empedansı

$$Z = |E/H| = 2 / \sigma r$$

olarak bulunur. Buradanda görüldüğü gibi E ve H arasındaki faz farkı yakın kaynak bölgesinde sıfırdır. Görünür özdirenç bağıntısı ise

$$\rho_a = r / 2 |E_\phi / H_r|$$

olarak elde edilir. Tekdüze yarı-sonsuz ortam için özdirenç doğrudan E a bağlı, frekanstan bağımsızdır. Bu şartlarda H doygun (Saturated) diye tanımlanır, özdirenç ve frekansın değişimlerinden etkilenmez. E ve H alanları frekanstan bağımsız olduğundan frekans sondajı yerine geometrik ölçüm yapılmış olur. Geometrik sondaj verilerinde frekans sondaj bilgileri olmadığından, yakın-kaynak düzeltmesi yapılarak yeniden uzak kaynak verileri haline getirilemez. Yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı gibi yakın-kaynak özdirenci E ve H alanlarında sırasıyla $1 / r^3$ ve $1 / r^2$ nin fonksiyonu olarak değişir- Yakın - kaynak verilerinin nufuz derinliğini dizilimin geometrisi kontrol eder ve frekansın hiç bir etkisi yoktur. Yakın-kaynak bölgesinde yapılan CSAMT elektrik alan ölçümleri DC özdirenç ölçümlerine benzerdir.

3-2-6- UZAK-KAYNAK DURUMU

Kutup kaynağın uzak olması durumunda E ve H bağıntıları yarı duraylı limit şartlarında aşağıdaki biçime gelir.

$$E_r = \frac{I dl \cos\phi}{2 \pi \sigma r^3}$$

$$E_\phi = \frac{I dl \sin\phi}{\pi \sigma r^3}$$

$$E_z = \frac{(\mu\omega)^{1/2} I dl \cos\phi e^{i\pi/4}}{2 \pi r^2 (\sigma)^{1/2}}$$

$$H_r = \frac{I dl \sin\phi}{\pi (\sigma\mu\omega)^{1/2} r^3} e^{-i\pi/4}$$

$$H_\phi = - \frac{I dl \cos\phi}{2 \pi (\sigma\mu\omega)^{1/2} r^3} e^{i\pi/4}$$

$$H_z = \frac{3 I dl \sin\phi}{2\pi \sigma\mu\omega r^4} e^{-i\pi/4}$$

Yukarıdaki bağıntılara dikkat edilecek olursa, homojen yer için E alanı frekansa bağlı değildir, doğrudan özdirence bağlıdır. Yatay elektrik ve manyetik alan uzak kaynak

bölgesinde uzaklığın tersinin küpü ($1/r^3$) ile orantılıdır. Bu nedenle dalga empedansı r açılımından bağımsızdır,

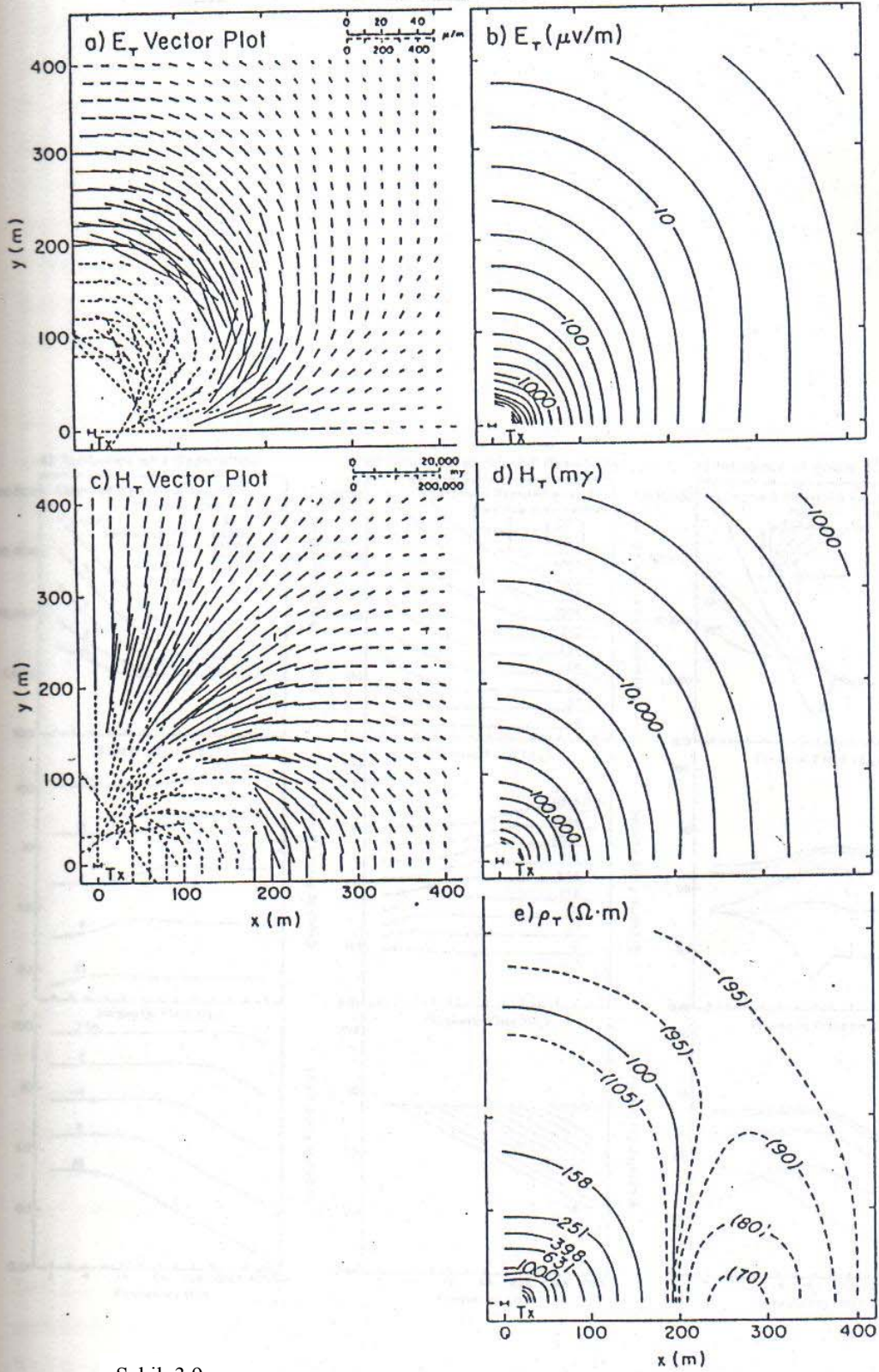
$$Z = |E_\phi / H_r| = (i\omega\mu/2)^{1/2} = (\omega\mu)^{1/2} e^{i\pi/4}$$

Uzak-kaynak bölgesinde herhangi bir frekanstaki görünür özdirenç bağıntısı aşağıdaki gibi verilir.

$$\rho_a = (\omega\mu)^{-1} |E_\phi / H_r|^2$$

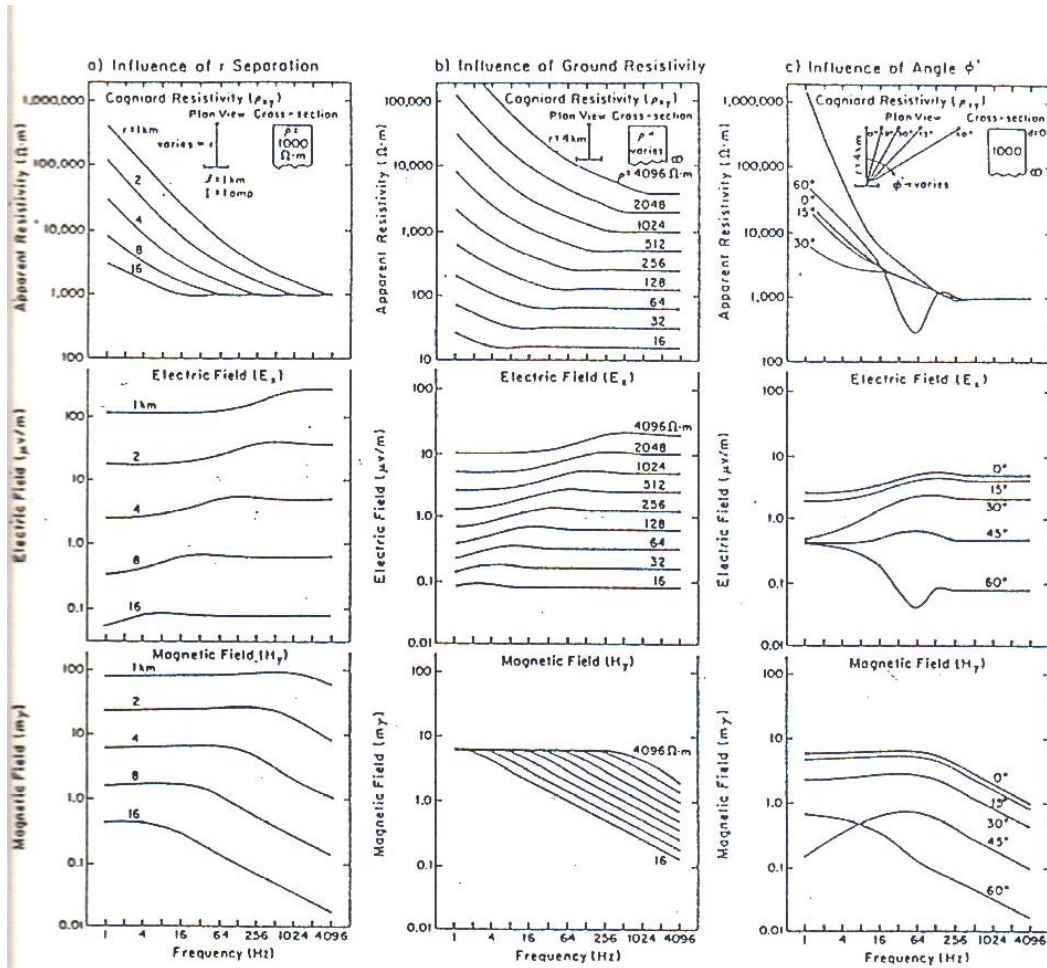
Bu bağıntı daha önce tanımladığımız Cagniard görünür özdirenç tanımıdır ve uzak kaynak bölgesinde kullanılır. Şekil 3.9 'da özdirenci 100 ohm-m olan tekdüze bir ortamda 4096 Hz için 1-boyutlu CSAMT sonucu görülmektedir- Şekil 3.9a 'da elektrik alanın her noktadaki yöneylerini göstermektedir. Her yöneyin boyu, elektrik alanının magnitudünü, yönü ise elektrik alanın yönünü göstermektedir. Şekil 3.9b'de ise elektrik alanının magnitudünü düzlem üzerinde göstermektedir.

28



Şekil 3.9 Homojen ortamda E ve H alan
 ($\rho=1000 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, $I=1000 \text{ amps}$, $f=4096\text{Hz}$)
 (Zonge ve Hughes, 1988)

Şekil 3.9c ve 3.9d ise benzer biçimde manyetik alanı göstermektedir. Bilindiği gibi elektrik ve manyetik alan her noktada birbirine diktir. Bu alanlardan elde edilen öz direnç, Şekil 3.9e'de görülmektedir. Öz direnç değişimi, kaynaktan uzaklığın ve azimutal açının karmaşık bir fonksiyonudur. Cagniard öz direnci ile gerçek öz direncin aynı olduğu bölge uzak-kaynak bölgesi olarak bilinir. Uygulamada uzak-kaynak uzaklığının sınırı gerçek öz direnç ile görünür öz direnç arasındaki %5'lik bir farkın olduğu bölge olarak düşünülebilir. Şekil 3.10.'de E_x , H_y ve ρ_{xy} 'yi frekansa bağlı olarak r , ρ ve $\phi'=\pi/2-\phi$ göstermektedir. Şekil 3.10.'de yakın -kaynak bölgesi ile uzak-kaynak bölgesi arasındaki farkı göstermektedir. Şekil 3.10.a'da r uzaklığının artması ile elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin aniden azaldığı görülmektedir. Yakın-kaynak etkisi yer öz direncinin bir fonksiyonudur. Şekil 3.10.b'de E_x/H_y oranı alıcı-verici uzaklığının 4 km olması durumunda görülmektedir. Elektrik alan öz dirence duyarlı iken, manyetik alan öz direnç ve frekanstan bağımsızdır. Bu etki yakın-kaynak bölgesinde 45° lik bir yükselim gösterir. Şekil 3.10c'de E_x/H_y oranının ϕ açısına göre değişimi görülmektedir. Uzak-kaynak verileri ϕ açısından bağımsızdır. Yalnız yakın-kaynak verileri açı ortaydan uzaklığa göre değişir. Bozucu etki 15° veya daha küçük durumlarda en azdır. Açı ortay büyüdükçe bozucu etki artar. $E\phi/Hr$ oranı için ± 30 derecelik bir koni kullanılabilir. (Zonge vd. 1980)



Şekil 3.10 Homojen ortamda E-, H-, alanları ve Cagniard öz direncinin a) r- uzaklığına göre, b) gerçek öz dirence göre, c) ϕ açısına göre değişimi (Zonge ve Hughes, 1988)

Kaynaklar

Bannister, P-R., 1966, Quasi-Static field of dipole antennas at the earth's surface. Radio Science 1, 1321-1330

Berdichevsky, M.N. and Dmitrev, V.J., 1976, Basic Principles of interpretation of Magnetotelluric sounding curves. IEEE, 67, 1034 - 1044.

Bostick, F-X., 1977, A simple almost exact methods of MT analysis. Proceeding of University of Utah Workshop on Electrical methods in Geothermal Exploration, 175 - 188.

- Cagnaird,L.,1953, Basic theory of magnetotelluric of geophysical prospecting, Geophysics,18, 605 - 635.
- Canitez,N.,1992, Genelleştirilmiş ters kuram. Jeofizikte Modelleme Kollokyumu-TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Istanbul.
- Goldstein,M.A.,1971, Magnetotelluric experiment employing an artificial dipole source.Ph.D. thesis, University of Toronto, Canada.
- Ilkisik,O.M.,1980,Trakya'da yerkabunun manyetotellurik yöntemle incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi
- Jones,A.,G.,1983, On the equivalence of the Niblett and Bostick transformation in the Magnetotelluric method. J. Geophysics-53,73-74
- Jupp,D.L.B. and Vozof,K.,1975, Stable Iterative methods for the inversion of the Geophysical data, J.R-Ast-Soc.,42,957-976.
- Kaufman,A.A. and Keller,G.,1981, The Magnetotelluric sounding method. Elsevier,595 pp. Keller,G.V. and Frichneekt,F.C.,1966, Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Pergamaon Press,London.
- Niblett,E.B. and Sayn-Wittgenstein,C.,1960, Variation of electrical conductivity with depth by the magnetotelluric method. Geophysics,25,998-1008-
- Patra,H-P. and Mallick,K.,1980, Geosounding Principles,2: Time - Varying Geoelectrical Sounding- Elsevier,Amsterdam. Porstendorfer,G.,1975, Principles of Magnetotel.luric Prospecting-
- Schmucker,U.,1970, Anomalies of geomagnetic variations in the South - Western United States,J.Geomag.Geoelec.,15,193 - 221.
- Stranway,D.W.and Goldstein,M.A.,1975,Audio-frequency magnetorelluric with a grounded electric dipole source, Geophysics,40, 669 - 683.
- Tikhonov,A.N.,1950,On the investigation of electrical characteristics of deep strata of Earth's crust (In Russian), Dokl-Akad. Nauk. SSSr,73,295-297.
- Wait,J.R-,1962, Theory of magnetotelluric field. Radio Propagation, 66D,509-541.
- Weidelt,P-,1972, The inversion problem of Geomagnetic induction, Zeitschrift fur Geophysik,38,257-289.
- Zonge,K.L., Ostrander,A-G.,1980 and Emer D.F., 1980, Controlled Source Audio- Magnetotelluric measurement- 50 th SEG meeting-
- Zonge,K.L. and llughes,L-J., 1988, Conrolled Source Atidio-Frequency Magnetotellurics. Zonge Eng- and Resarch Org.,Inc.